



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Evaluación de parámetros hidráulicos de la red de
agua del sector 18 de Sedapal en el distrito de San
Borja para propiciar la reducción de la tasa de agua no
facturada**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

Modalidad M3

AUTOR

Lusiana Ruzaliz HUAYLLAS BARZOLA

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Huayllas, L. (2018). *Evaluación de parámetros hidráulicos de la red de agua del sector 18 de Sedapal en el distrito de San Borja para propiciar la reducción de la tasa de agua no facturada*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS POR LA MODALIDAD M3, SUFICIENCIA PROFESIONAL

Siendo las 17:00 horas del día miércoles 25 de julio de 2018 en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del MSc. Ing. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA y con la asistencia del Mg. Ing. EMANUEL JESÚS GUZMÁN ZORRILLA y del Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ, miembros del Jurado Examinador de Monografía Técnica, de conformidad con la Resolución Rectoral N° 01934-R-02 que aprueba las diferentes modalidades de titulación profesional, se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica en la que la Bachiller LUSIANA RUZALIZ HUAYLLAS BARZOLA puso a consideración del Jurado Examinador su trabajo de Monografía Técnica como parte de los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos por la Modalidad M3, Suficiencia Profesional.

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente e invitó a la Bachiller LUSIANA RUZALIZ HUAYLLAS BARZOLA, a realizar la exposición de su trabajo titulado "EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE LA RED DE AGUA DEL SECTOR 18 DE SEDAPAL EN EL DISTRITO DE SAN BORJA PARA PROPICIAR LA REDUCCIÓN DE LA TASA DE AGUA NO FACTURADA" durante un tiempo de 30 minutos.

Concluida la exposición de la candidata, y luego de las preguntas de rigor de parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó a la Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación correspondiente. Se procedió a promediar la nota final obtenida en los cursos del Ciclo de Actualización Profesional (CAP), y el resultado se promedió a su vez con la nota de sustentación de la monografía para hallar el promedio final.

Al término de la deliberación del jurado, se invitó a la candidata a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida, la misma que fue:

.....Dieciséis..... 16.....

El Presidente del Jurado Examinador, MSc. Ing. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró a la Bachiller LUSIANA RUZALIZ HUAYLLAS BARZOLA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 18:00 horas del mismo día, se levantó la sesión.

MSc. Ing. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA
Presidente de Jurado Examinador

Mg. Ing. EMANUEL JESÚS GUZMÁN ZORRILLA
Miembro de Jurado Examinador

Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ
Miembro de Jurado Examinador

Copyright © 2018 por Lusiana Huayllas Barzola.

Todos los derechos reservados.

DEDICATORIA

Dedicado a Dios, a mis padres Walter Huayllas
Cosme y Elizabeth Barzola Ávila por su comprensión
y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre Walter por sus enseñanzas y fortaleza, a mi madre Elizabeth por su paciencia y preocupación, a mi hermano Fabricio por su alegría y empuje a obtener mi título profesional. A mi alma mater Universidad Nacional Mayor de San Marcos por albergarme en sus aulas y a los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos por compartir sus conocimientos y experiencia profesional. Mi agradecimiento especial a la Ing. Liliana Gamarra León y al Ing. Renán Reyes Murillo por su apoyo en el desarrollo del tema y compartir sus enseñanzas en el trascurso de mis prácticas profesionales.

RESUMEN

La presente monografía trata del análisis de datos de volumen, caudal y presión de agua potable del sector 18 ubicado en el distrito de San Borja con la finalidad de lograr la reducción de la tasa de agua no facturada (ANF) en el sector, puesto que las pérdidas de agua potable en las redes de distribución y conexiones son elevadas lo cual conlleva a pérdidas económicas a la empresa prestadora de servicio. Para ello la elección del sector bajo análisis se realizó de acuerdo a su alta tasa de ANF, al alto nivel de micromedición a través de medidores domésticos y a que es un área monitoreada por el Sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) de la empresa. A continuación se evaluó el nivel de micromedición del sector comparando la cantidad de conexiones con lectura de consumo respecto del total de conexiones determinándose que si se incrementa la cantidad de conexiones leídas se reduce el agua no facturada. Se evaluaron las pérdidas de agua potable en las redes de distribución por fugas o conexiones clandestinas comparando los volúmenes de agua entregada a la red y los volúmenes de agua consumidos en el sector, encontrándose la existencia de un gran volumen de agua pérdida predominantemente por fugas de las redes. Asimismo, se constató que una sobreelevación en el valor de la presión en el ingreso del sector conlleva a una mayor pérdida de volumen de agua. En conclusión se determinó que un adecuado control en las mediciones de las conexiones domiciliarias, pérdidas de volumen por fugas se puede lograr una reducción de la tasa de ANF.

Palabras clave: Agua No Facturada, SCADA, sectorización, fugas, control de presión.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Problemática y problema a solucionar	2
1.3. Objetivos de la monografía.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Limitaciones del tema	3
CAPÍTULO 2	4
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. Aspectos Generales.....	4
2.2. Balance hídrico	5
2.2.1. Volumen de entrada al sistema.....	6
2.2.2. Volumen No Facturado	9

2.3.	Nivel de Micromedición	12
2.4.	Sectorización.....	12
2.5.	Sistema SCADA	12
2.6.	Métodos de detección y medición de fugas	13
2.6.1.	Método directo (acústico).....	13
2.6.2.	Método convencional	15
CAPÍTULO 3		18
DESARROLLO DEL TEMA		18
3.1.	Área de aplicación.....	18
3.2.	Separación hidráulica del sector 18	20
3.3.	Presión al ingreso del sector	21
3.4.	-Situación de conexiones domiciliarias	23
3.5.	Detección de Fugas	26
3.6.	Datos iniciales	30
3.7.	Metodología de cálculo	34
CAPÍTULO 4		41
CÁLCULOS Y RESULTADOS		41
4.1.	Cálculos.....	41
4.2.	Discusión de resultados:	45
CONCLUSIONES		50
RECOMENDACIONES		52
BIBLIOGRAFÍA		53

ANEXOS	55
ANEXO 1: Ubicación del sector 18.....	56
ANEXO 2: Curvas de Nivel del sector 18	57
ANEXO 3: Redes de Agua Potable del sector 18	58
ANEXO 4: Subsectores del sector 18	59

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ANC	Agua No Contabilizada
ANF	Agua No Facturada
atm.	Atmósfera
Av.	Avenida
ECOONSA	Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios
EPS	Empresa Prestadora de Servicios Sanitarios
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IWA	International Water Association
JICA	Agencia Japonesa de Cooperación Internacional
l/d	Litros por día
l/min	Litros por minuto
l/s	Litros por segundo
m/s	Metros por segundo
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
mca	Metro de columna de agua
min	minutos
mm	Milímetros
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
PVC	Policloruro de Vinilo
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima

SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
UFW	Unaccounted For Water
und.	Unidad

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Balance Hídrico Estandarizado.....	6
Tabla 2 2 Balance hídrico de SEDAPAL de acuerdo al IWA.	11
Tabla 3.1 Clasificación según estado del servicio de agua-Sector 18	24
Tabla 3.2 Clasificación según la facturación del suministro-Sector 18.....	24
Tabla 3.3 Situación de medidores-Sector 18	25
Tabla 3.4 Primera detección de fugas-Sector 18	27
Tabla 3.5 Segunda detección de fugas-Sector 18.	28
Tabla 3.6 Informe de la Tercera detección de fugas -Sector 18.	29
Tabla 3.7 Consumo de Agua Facturado del Sector 18.....	30
Tabla 3.8 Periodo de facturación-Sector 18.....	31
Tabla 3.9 Volumen diario de Agua Distribuida-Sector 18	32
Tabla 3.10 Medición de Fugas-Sector 18	35
Tabla 3.11 Resultado de la medición directa nocturna-Sector 18	37
Tabla 3.12 Volumen total de fugas del Sector 18.....	39
Tabla 4.1 Valores relacionados con la tasa de ANF-Sector 18.....	42
Tabla 4.2 Tasa de ANF feb-13 a feb-14 Sector 18	43
Tabla 4.3 Resultado de Conexiones y micromedición-Sector 18.....	45
Tabla 4.4 Resultado de agua facturada-Sector 18.....	46
Tabla 4.5 Resultado del ANF-Sector 18	47
Tabla 4.6 Resultado del Balance Hídrico del Sector 18	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Correlador de dos sensores.....	14
Figura 2.2 Medición directa de fugas	15
Figura 2.3 Componentes del caudal mínimo nocturno	16
Figura 2.4 Caudal mínimo nocturno	17
Figura 3.1. Delimitación del sector 18.....	19
Figura 3.2 Elevación del sector 18.....	20
Figura 3.3 Presión de SCADA enero-mayo.....	21
Figura 3.4 Presión de SCADA – junio- setiembre.....	22
Figura 3.5 Presión de SCADA – octubre 2013- febrero 2014.....	23
Figura 3.6 Sub-sectores del sector 18.	34
Figura 3.7 Línea de medición directa-sector 18.....	36
Figura 3.8 Medición directa de fugas-sector 18.....	38
Figura 3.9 Ubicación clandestina Av. Canadá N° 790	40
Figura 4.1 Volumen de ANF anual.....	45

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Generalidades

La corporación alemana para la cooperación internacional (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit-GIZ), (2011) menciona que el Agua No Facturada en países en desarrollo tiene un rango de 40-50 % del agua producida y que el Banco Mundial estima una pérdida de 26.7 mil millones de m³ de agua que representa aproximadamente USD 5.9 mil millones que pierden las empresas prestadoras de servicio de agua cada año.

Para el caso de Lima, según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), 2013 “La tasa de Agua No Facturada (ANF) en Lima Metropolitana a diciembre 2012 es 30.78%”, esto significa que la tercera parte del agua potable producida se pierde y su costo financiero no se recupera.

La empresa SEDAPAL es la encargada de administrar y proveer el servicio de agua potable a la ciudad de Lima, la provincia constitucional del Callao y balnearios; tiene 3 Gerencias de Servicios (Norte, Centro y Sur), 7 Centros Operativos que se dividen a su vez en sectores; dichos sectores están limitados por válvulas y el área de ubicación el sector 18 está dentro del distrito de San Borja que pertenece al Centro de Servicios Breña.

El balance hídrico de un sistema está compuesto por la cantidad de agua facturada y el Agua No Facturada; los componentes del ANF son las pérdidas físicas, comerciales y el volumen de agua autorizado no facturado (por ejemplo, el agua contra incendios).

Para el sector 18, teniendo ya identificado los componentes del ANF, las actividades para su reducción son el control de las presiones a la entrada del sector mediante el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para evitar la variación del volumen de fugas en caso existan; la detección de fugas visibles y no visibles que deben ser reportadas para su reparación, rehabilitación, cambio y renovación ya sean tuberías, válvulas o grifos contra incendio; en el aspecto comercial la instalación o cambio de medidores y la inspección de conexiones que no cuentan con medidor que podrían ser conexiones clandestinas, a su vez ayuda a tener un alto nivel de micromedición en el sector.

1.2. Problemática y problema a solucionar

La alta tasa de ANF en la ciudad de Lima está relacionado a las fugas en las redes de distribución que afectan a los usuarios por la interrupción del servicio cuando van a ser reparadas, puede surgir infiltración de aguas residuales u otros contaminantes en los sistemas de tuberías con baja presión, a su vez afecta a los clientes por fallas en el servicio debido a la baja de presión. Entonces, la reducción pérdidas de agua incrementará los ingresos generados por el servicio; para el área que es el sector 18 se tiene en cuenta el nivel de micromedición, control de fugas en las redes de distribución y la presión al ingreso del sector.

1.3. Objetivos de la monografía

1.3.1. Objetivo General

Evaluar los parámetros hidráulicos de la red de agua del sector 18 de SEDAPAL en el distrito de San Borja para propiciar la reducción de la tasa de agua no facturada.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el nivel de micromedición en el sector 18 mediante la recolección de los datos de cantidad de medidores y la lectura de consumo de los mismos.
2. Evaluar las pérdidas de agua potable en las redes de distribución mediante la contrastación entre los volúmenes de agua entregados y los volúmenes de agua consumidos por el sector 18.
3. Analizar el comportamiento de la presión al ingreso del sector 18 mediante el sistema SCADA a fin de relacionarlo con las pérdidas de agua en la red de distribución.

1.4. Limitaciones del tema

En el aspecto financiero, no se obtuvo datos de facturación de los usuarios del sector 18, por lo que no se halló costo beneficio de la reducción de pérdidas. Asimismo, no se tiene datos de consumo por conexión de cada cliente del sector, ya que depende del agua, alcantarillado, impuestos y otros. No se tiene datos de las tarifas por usuario que dependen de características particulares como el horario de abastecimiento, el tipo de cliente, el uso doméstico o familiar, etc.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Aspectos Generales

SEDAPAL es la empresa prestadora de servicio de agua potable y alcantarillado más grande del país, según la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), (2013) existen 50 empresas prestadoras de servicios de saneamiento que varían según el tamaño, de acuerdo a la cantidad de conexiones de agua potable administradas y SEDAPAL administra más de 1 millón de conexiones que sería el 41.93% del total en el Perú. Por lo tanto, la producción de agua potable genera altos costos de personal, operacionales, administrativos y de gestión, y que el agua pérdida en su camino de entrega al cliente no genere ingresos para la empresa es una alta pérdida financiera.

Para el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) citado por Ramírez (2014), el balance hídrico es una herramienta que permite realizar un diagnóstico integral sobre la situación de las pérdidas de agua en la gestión operacional y comercial de la prestación del servicio.

Por lo que es importante analizar los componentes del balance hídrico para identificar las pérdidas de agua potable que se producen en las redes de distribución

(pérdidas físicas o reales) y los volúmenes de agua distribuidos sin facturación (pérdidas de agua aparentes) que nos permitirán contabilizar el volumen de agua no efectiva dentro de un periodo definido.

2.2. Balance hídrico

Es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado.

En el año 2000 la Asociación Internacional del Agua (IWA) hace un análisis del balance hídrico teniendo en cuenta las mejores prácticas internacionales, a partir del cual es adaptado y reconocido mundialmente, dicho balance nos permite identificar los componentes con mayor cantidad de pérdidas de agua potable (Ver *Tabla 2.1*), los datos de volumen son para un periodo de referencia que generalmente es un año.

Tabla 2.1 Balance Hídrico Estandarizado

Volumen de entrada al sistema	Consumo Autorizado	Consumo Autorizado Facturado	Consumo Facturado Medido	Agua Facturada
			Consumo Facturado No Medido	
		Consumo Autorizado No Facturado	Consumo No Facturado Medido	Agua No Facturada
			Consumo No Facturado No Medido	
	Pérdidas de Agua	Pérdidas Aparentes	Consumo no Autorizado	
			Inexactitud de medición	
		Pérdidas Reales	Fugas en las red de distribución	
			Fugas y derrames en los tanques de almacenamiento	
			Fugas en las conexiones de servicio hasta el medidor	

Fuente: IWA (International Water Association), 2000

Los componentes que se muestran en la *Tabla 2.1* son:

2.2.1. Volumen de entrada al sistema.

Es el volumen de ingreso al sistema de suministro de agua cuyas mediciones se hacen desde macromedidores.

2.2.1.1. Consumo Autorizado.

El volumen de agua medida y/o no medida tomada a los clientes registrados por el proveedor de agua potable y otros autorizados a hacerlo.

2.2.1.1.1. Consumo Autorizado Facturado (Agua Facturada)

- Consumo Facturado Medido

Es el consumo que se determina con el registro de lecturas de los medidores.

- Consumo Facturado No Medido

Este consumo es cuando no existen medidores o por alguna circunstancia es imposible la lectura del medidor.

2.2.1.1.2. Consumo Autorizado No Facturado

Es un consumo legítimo que no genera ningún ingreso.

- Consumo No Facturado Medido

Es el consumo que se calcula en base a estimaciones o normas.

- Consumo No Facturado No Medido

Este consumo incluye el agua usada para caso de incendios, riego de jardines y parques, etc.

2.2.1.2. Pérdidas de Agua

2.2.1.2.1. Pérdidas Apparentes

Son pérdidas que se entregan al cliente, pero no se mide o registra con exactitud, según la Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A. (ECOONSA CHILE S.A.,

2014) esta pérdida puede ser recuperada y no permanece en el tiempo ya que el cliente puede ajustar su consumo en periodos posteriores a su detección. Estas pérdidas pueden ser por:

- *Consumo de Agua no Autorizado (Robo de Agua)*

Son conexiones ilegales, medidores vandalizados o manipulados por los usuarios y otros que evitan la conexión de medidores.

- *Inexactitudes de los medidores*

Esta pérdida es debido a la mala selección de medidores, instalación incorrecta y deterioro a través del tiempo.

- *Error de facturación y lectura*

El error en el manejo de datos del personal se puede dar en la lectura de medidores, procesamiento de datos y facturación.

2.2.1.2.2. Pérdidas Reales

Son volúmenes de agua perdidos por fugas, roturas y reboses que pueden ocurrir en tuberías, conexiones domiciliarias, rebose de surtidores y fugas en los reservorios.

- *Fuga de Agua desde conexiones*

Puede haber fugas en las conexiones a través de sus uniones y accesorios, son difíciles de detectar por sus tasas de flujo bajas y por lo tanto tienen tiempos de fuga largos. Este tipo de fugas son difíciles de detectar por su bajo caudal y tiempo de fugas largos. GIZ, (2011)

- *Fugas de Agua Visibles*

Por su propia denominación el agua que fuga aparecerá en la superficie dependiendo de la presión y orificio de la fuga, este tipo de fugas se encuentran en uniones y tuberías de distribución. Por lo general usuarios son los que alertan de la fuga de agua a la empresa.

- *Fugas de Agua No Visibles*

Es el escape del agua por un orificio provocado accidentalmente, o a través de un accesorio de la red por fatiga y/o deterioro. Las fugas en una tubería con presión crean un ruido que viaja a través de las paredes del tubo y del terreno que lo rodea, por lo cual para su detección y localización requiere el uso de instrumentos especializados como son el geófono, el escuchador de superficie y correlador.

2.2.2. Volumen No Facturado

El Agua No Facturada (ANF) es uno de los problemas más persistentes en los sistemas de suministro de agua, el término describe al agua que es producida, pero se pierde o no se contabiliza en el sistema.

Según la corporación alemana Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), (2011, p.32) “el Banco Mundial estima que el volumen anual de ANF en los países en desarrollo está en el rango 26.7 mil millones de metros cúbicos, lo cual representa aproximadamente USD 5,9 mil millones que pierden las empresas de agua cada año.”

Los costos asociados a estas pérdidas pueden ser el resultado de robos, evaporación, fugas en tuberías, incluso mala medición o recolección datos. Se puede expresar como la

diferencia del volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado o como la suma de consumo autorizado no facturado y las pérdidas de agua.

Asimismo, GIZ, (2011, p.48) mencionó “que el grupo de trabajo de la IWA recomienda discontinuar el uso del término Agua No Contabilizada (en inglés: unaccounted-for water, UFW) debido a las interpretaciones que varían ampliamente de este término en todo el mundo”.

La tasa de Agua No Facturada es hallada con la siguiente ecuación:

$$ANF = \left(\frac{V. \text{ producido} - V. \text{ facturado}}{V. \text{ producido}} \right) 100 \quad (2.1)$$

Fuente: SUNASS (p. 26), 2013

Donde ANF es el Agua No Facturada, en %; V. producido es el volumen de agua distribuida, en m³; V. facturado es el volumen de agua facturado, en m³.

Basado en la *Tabla 2.1* SEDAPAL en el año 2012, el balance hídrico tiene la composición del caudal de distribución de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2 2 Balance hídrico de SEDAPAL de acuerdo al IWA.

Volumen Distribuido	Volumen de Agua Efectiva	Autorizado Facturado	Lecturas	Volumen de agua efectiva
			Sin lecturas (Por promedio o asignación)	
			Tanques cisterna	
	Volumen de Agua Efectiva	Autorizado No Facturado	Agua para incendios	Volumen de Agua No Facturada
			Limpieza de establecimientos	
			Pruebas	
			Otros usos no facturados	
			Tanques cisterna	
	Volumen de Agua No Efectiva	Pérdidas Comerciales	Robos de agua (sin contrato)	
			Robos de agua (con contrato)	
			Errores en lecturas	
			Errores en proceso de facturación	
			Errores en la base de datos	
		Pérdidas Físicas	Fugas en las redes primarias	
			Fugas en las redes secundarias	
			Agua para incendios	
			Fugas en los reservorios	
			Pérdidas inevitables	
			Pérdidas por tanques cisterna	

Fuente: SEDAPAL, 2012

2.3. Nivel de Micromedición

Es el porcentaje de la cantidad de conexiones con lectura respecto al total del sector, la micromedición es un factor que influye en la reducción del ANF porque está ligado a las fugas de agua y está dado por la siguiente formula:

$$\text{Nivel de Micromedición} = \left(\frac{\text{Número de Conexiones de Lectura}}{\text{Total de Conexiones}} \right) 100 \quad (2.2)$$

Fuente: SUNASS (p. 26), 2013

2.4. Sectorización

La sectorización del sistema de distribución de Agua Potable permite hacer un mantenimiento preventivo y correctivo sin necesidad de dejar sin servicio a una gran cantidad de usuarios. Dicha sectorización es mediante válvulas límites de sector que tienen que conservar su hermeticidad para evitar el flujo de agua con otro sector colindante.

Según (Vargas, 2011, p.4) “la Sectorización, consiste en definir áreas menores a 3 Km², aisladas unas a otras. Cada una de ellas dotadas de un solo punto de ingreso y otro de emergencia.”

2.5. Sistema SCADA

Sus siglas en inglés Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), es un sistema que controla y supervisa procesos automáticamente y a distancia mediante sensores, crea alarmas y advertencias para corregir

posibles desviaciones; además recopila y almacena información para generar informes, solución de problemas, indicaciones de mantenimiento, etc.

En agua potable el sistema SCADA, según (Vargas, 2011, p.4) “permite conocer en tiempo real los valores del caudal de ingreso y presiones en el sector, así como determinar la calidad de agua entregada conociendo la concentración del cloro residual.”

2.6. Métodos de detección y medición de fugas

La detección de fugas no visibles se puede dar por los siguientes métodos:

2.6.1. Método directo (acústico)

La detección se realiza con diferentes equipos que captan el ruido que genera la fuga, como el escuchador de superficie, geófono, correlador de dos sensores (Ver *Figura 2.1*) y el correlador multipuntos dichos equipos en contacto con la tubería permiten escuchar el ruido. A su vez se hace una aproximación del volumen de las fugas según la percepción de su sonido.

- Escuchador de superficie

Este equipo tiene dos micrófonos de piso, uno para superficies planas (asfalto, concreto) y otro para terreno suave (jardín o tierra). Usando estos micrófonos para escuchar en intervalos cortos a lo largo de la tubería permite que la fuga se localice con mayor exactitud.

- Varilla acústica

Es una varilla redonda de acero inoxidable con cámara acústica (cavidad de resonancia y orificio detector de sonido), con una placa de vibración.

- Correlador

Es un equipo que se usa para realizar la correlación y consta de dos o más sensores; la correlación es un método que calcula el retraso de dos señales emitidas desde la misma fuente. El sonido es detectado por medio de los micrófonos de gran sensibilidad. El tiempo que tarda en llegar a los micrófonos nos proporciona la distancia de la fuente de ruido.

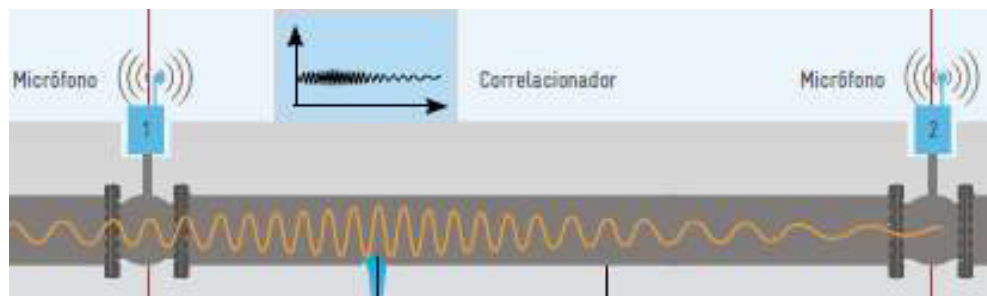


Figura 2.1 Correlador de dos sensores

Fuente: GIZ, 2011

En la medición directa se usó un medidor electrónico de 15 mm (señal de salida de pulsos), se cerraron todas las conexiones afectadas por un periodo aproximado de 10 min., pero es efectivo porque se puede medir directamente el volumen de las fugas (Ver *Figura 2.2*).

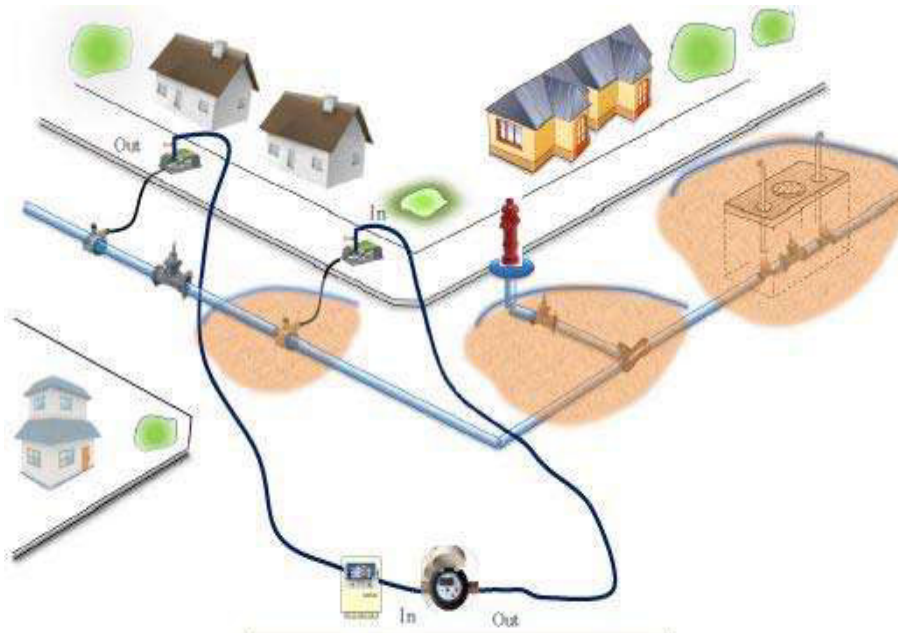


Figura 2.2 Medición directa de fugas

Fuente: SEDAPAL-JICA, 2013

2.6.2. Método convencional

Se basa en mediciones de caudal de una manera continua, para identificar el caudal de las fugas mediante medidores de caudal. Abarca, (2012).

El Caudal mínimo nocturno es el caudal neto en un área que se mide durante el periodo de mínimo consumo, que se estima desde las 2 hasta las 4 de la mañana. Este caudal se compone (Ver *Figura 2.2*) del caudal entregado a los consumidores y el caudal que se pierde en la red de distribución.

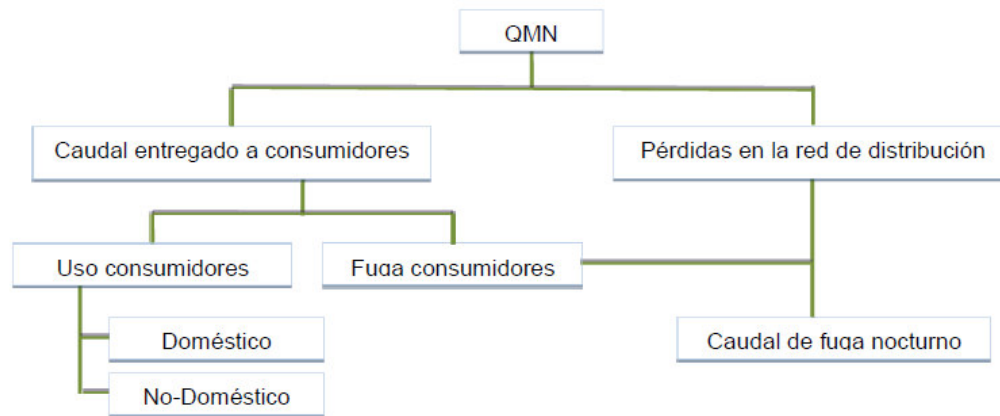


Figura 2.3 Componentes del caudal mínimo nocturno

Fuente: Arreategui, Francisco. "Evaluación de las fugas mediante el análisis de los caudales inyectados"

El método de medición del caudal mínimo nocturno en la cámara de medición

Se utilizan manguera de 50 mm para la distribución de agua, sistema de caudalímetro electromagnético, registrador de datos y Laptop para el registro de datos de la presión y caudal en intervalos de 1 segundo para buscar el valor aproximado de las fugas (Ver *Figura 2.4*).

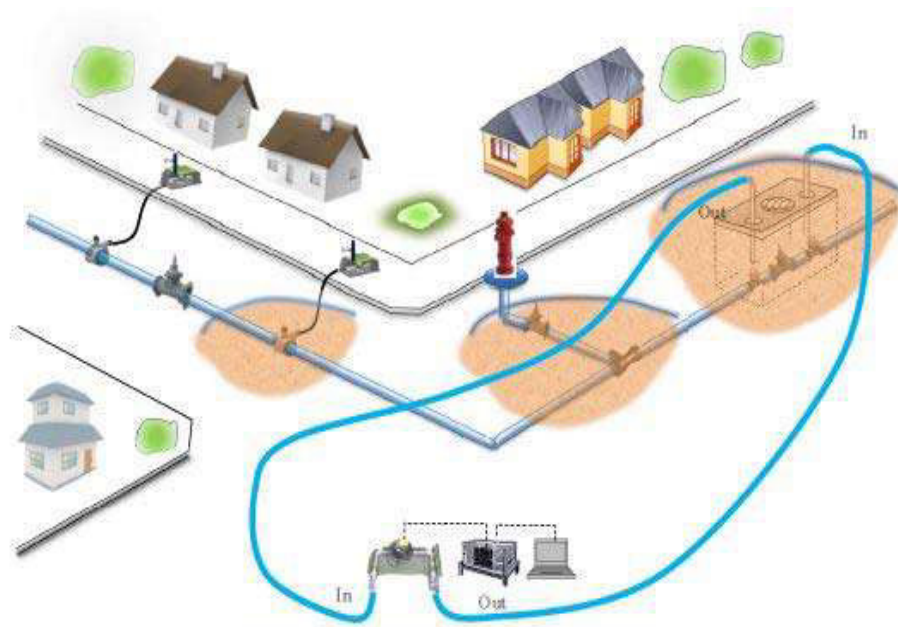


Figura 2.4 Caudal mínimo nocturno

Fuente: SEDAPAL-JICA, 2013

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Área de aplicación

El sector 18 está delimitado por la Av. Canadá, Av. Luis Aldana, Av. Javier Prado Este y Av. Campodónico Esteban. (Ver *Figura 3.1*).

El sector 18 tiene las siguientes condiciones iniciales:

- Es un área pequeña lo que hace más fácil el manejo de información.
- Tiene una alta tasa de ANF.
- Cuenta con una alta tasa de micromedición.
- Es un área plana, la zona alta donde está la cámara SCADA está a 155 m y en la zona más baja la elevación es de 135 m (Ver *Figura 3.2*), dicha cámara controla y almacena información de presión y caudal al ingreso del sector.



Figura 3.1. Delimitación del sector 18

Fuente: Elaboración propia, 2013



Figura 3.2 Elevación del sector 18.

Fuente: Elaboración propia, 2013

3.2. Separación hidráulica del sector 18

La separación hidráulica de un sector se determina a través de la hermeticidad de las válvulas límites de sector, se realiza el drenaje completo del agua y con el detector de fugas se confirma que no existe paso de agua a través de las válvulas. Sin embargo, esto ocasiona problema de desabastecimiento de agua, por lo que se culminó el proceso mediante el equipo de detección de fugas y no se identificaron puntos de separación incompleta del sector 18.

3.3. Presión al ingreso del sector

La importancia del mantenimiento de la presión es para reducir las pérdidas físicas, roturas y estallidos de tuberías. Para el mantenimiento de las consignas de presión establecidas SEDAPAL controla la presión a través del sistema SCADA en el sector 18, ya que es importante mantener una presión constante para evitar la variación de volumen de fugas (en caso existan).



Figura 3 3 Presión de SCADA enero-mayo

Fuente: Elaboración propia con datos del SCADA, 2013

En la *Figura 3.3* se observa que la presión del sector 18 entre el mes de enero a abril se mantiene constante entre un máximo de 12 mca y un mínimo de 2 mca que son las consignas establecidas, sin embargo, para el mes de mayo la presión máxima se eleva entre 14 mca y al final del mes a 18mca.



Figura 3.4 Presión de SCADA – junio- setiembre

Fuente: Elaboración propia con datos del SCADA, 2013

En la *Figura 3.4* se observa que la presión del sector 18 entre el mes de junio hasta quincena de julio es variable con máximos de 20 mca, 16 mca y 14 mca, y un mínimo constate de 8 mca, dichos valores variables hacen que los volúmenes de fugas también sean variables. A partir de quincena de julio hasta quincena de agosto se van manteniendo los valores de presión entre 16 mca y 6 mca. Desde la quincena de agosto hasta principio de setiembre la presión máxima se eleva a 18 mca y la mínima se mantiene en 6 mca. Para el mes de setiembre se vuelve a bajar la presión entre 12 mca y 2mca debido a los impactos que genera en los flujos de fuga.



Figura 3.5 Presión de SCADA – octubre 2013- febrero 2014

Fuente: Elaboración propia con datos del SCADA, 2014

En la *Figura 3.5* se observa que la presión del sector 18 entre el mes de octubre del 2013 a febrero del 2014 se mantiene constante entre un máximo 12 mca y la mínima de 2 mca como al inicio del 2013 (Ver *Figura 3.3*).

3.4. -Situación de conexiones domiciliarias

La cantidad de conexiones del sector 18 a febrero 2013 es de 1 791 conexiones, las cuales se encuentran en diferente estado según se muestra en la *Tabla 3.1*:

Tabla 3.1 Clasificación según estado del servicio de agua-sector 18

Estado de suministro	Cantidad (und.)
Situación Correcta	1 724
Corte por impago	9
Alta sin facturar	4
Baja voluntaria	1
Otros	53
Total	1 791

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

En la *Tabla 3.1* se muestra el estado del servicio de agua, en su mayoría se encuentra con servicio normal, algunos sin servicio por diversos motivos como impago, baja del medidor y en otros se considera a los usuarios que emiten un reclamo por el cobro excesivo del servicio.

Del total de conexiones solo 1 738 son las que cuentan con servicio normal y cuyas lecturas de consumo se facturan (Ver *Tabla 3.2*).

Tabla 3.2 Clasificación según la facturación del suministro-sector 18.

Estado del suministro	Cantidad (und.)
Lectura	1 529
Promedio	208
Asignación	1
Total	1 738

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

La *Tabla 3.2* se puede describir según la Norma de Facturación (SEDAPAL, 2013) se menciona que el consumo promedio se factura cuando no existe posibilidad de lectura ya sea circunstancial o permanente, medidor paralizado, medidor inoperativo. Asimismo, el consumo por asignación se factura de acuerdo al horario, código de abastecimiento, clasificación distrital y el uso que le den al predio.

Los medidores de las conexiones domiciliarias tienen diversos problemas, en una inspección se detectó 126 conexiones deficientes con los siguientes casos (Ver *Tabla 3.3*):

Tabla 3.3 Situación de medidores-sector 18

Contenido	Lugares
Caja con situación difícil (Interior, no ubicado)	71
Fuga dentro de la caja del medidor	4
Sin medidor (con niple)	32
Medidores con anomalías (vandalizado, desperfecto)	17
Sospecha de robo de agua	2
Total	126

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

A continuación, se describe cada situación de los medidores de la *Tabla 3.3*:

- Las cajas de los medidores deben estar en la acera delante de la vivienda, para tener fácil acceso a la lectura del mismo. Pero se observaron casos en los cuales

las cajas se encuentran dentro del terreno de las viviendas o en áreas verdes e incluso existen obstáculos encima de la misma.

- Falta de instalación de medidor, cuando el medidor está en proceso de cambio, a la espera de instalación después del contrato; sin embargo, existe sospechas de robo de agua cuando la conexión se encuentra con un medidor robado, suspenden el servicio debido a la falta de pago o cuando el medidor es desmontado intencionalmente.
- Diámetro inadecuado, cuando en los departamentos y hoteles se encuentran con conexiones de tubería de 15 mm y 20 mm de diámetro a pesar de la gran cantidad de consumo.

3.5. Detección de Fugas

En la primera detección de fugas en el sector 18 (Ver *Tabla 3.4*) se encontró 76 fugas en las tuberías de distribución y conexiones domiciliarias.

La detección de fugas, es con barras de escucha electrónica, hace punto de contacto en el medidor, para detectar fugas en las tuberías de distribución y conexión domiciliaria, Con el correlador de 2 puntos en caso de haber ruidos parecidos a la fuga de agua. En esta ocasión, con el objeto de establecer un sistema de detección más eficiente, se introdujo en el trabajo rutinario el correlador multipuntos que está provisto de 6 sensores, y consiste en establecer contacto con válvulas de redes, válvulas de grifo o conexiones de agua. Los cuales se programan mediante un software para el inicio de hora de escucha, cantidad de

grabaciones y periodo entre lecturas, luego se procede a hacer correlaciones entre los diferentes sensores a fin de evaluar la existencia de posibles fugas.

Tabla 3.4 Primera detección de fugas-sector 18

Lugar del robo de agua	Cantidad (und.)	Caudal de agua(l/d)	Proporción (%)
La tubería de distribución	1	7 000	3.26
Grifo	1	500	0.23
Derivación de tubería de distribución a la tubería de conexión domiciliaria	12	102 000	47.44
Tubería de conexión domiciliaria aguas arriba de la caja del medidor	29	74 000	34.42
Caja del medidor aguas arriba	11	8 500	3.95
Caja del medidor aguas abajo	11	8 000	3.72
Tubería de conexión domiciliaria aguas abajo	11	15 000	6.98
Total	76	215 000	100

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

De la *Tabla 3.4* se puede observar que el volumen total estimado es 215000 l/día (8.96 m³/h), la gran parte de fugas está en la derivación de tubería de distribución hacia la

tubería de conexión domiciliaria (47.44 %), seguido de la tubería de conexión domicilia agua arriba de la caja del medidor (34.42%).

Tabla 3.5 Segunda detección de fugas-sector 18.

Lugar del robo de agua	Cantidad (und.)	Caudal de agua (l/d)	Proporción (%)
Derivación de la tubería de distribución a la tubería de conexión domiciliaria	12	36 000	40.68
Tubería de conexión domiciliaria aguas arriba de la caja del medidor	5	24 000	27.12
Caja del medidor	16	28 500	32.20
Total	33	88 500	100

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

De la *Tabla 3.5* se puede observar que el volumen total estimado es 88 500 l/día (3.68 m³/h) que a comparación de la primera detección (Ver *Tabla 3.4*) disminuye en 126 500 l/d (5.27 m³/h), la gran parte de fugas al igual que la primera revisión está en la derivación de tubería de distribución hacia la tubería de conexión domiciliaria (40.68 %).

Con la tercera verificación, se localizaron 9 lugares de fugas realizado setiembre de 2013 (Ver *Tabla 3.6*).

Tabla 3.6 Informe de la Tercera detección de fugas -sector 18.

	Dirección	Nº	Diámetro	Ubicación/Fuga	Fecha	Volumen (l/d)
1	Av. Javier Prado	155	1/2"	Corporation	21/09/2013	10 000
2	Av. E. Campodónico	519	1/2"	Caja después de medidor	21/09/2013	300
3	Av. Luis Aldana	119	1/2"	Caja después de medidor	24/09/2013	1 000
4	Av. Canadá	1 076	3/4"	Caja después de medidor	24/09/2013	2 000
5	Av. Javier Prado	1 417	1/2"	Caja antes de medidor	24/09/2013	3 000
6	Av. Canadá	640	3/4"	Corporation	24/09/2013	8 000
7	Av. Canadá	652	1/2"	Corporation	24/09/2013	3 000
8	Av. Canadá	672	1/2"	Corporation	24/09/2013	3 000
9	Av. Canadá	856	1/2"	Corporation	24/09/2013	3 000
Total						33 300

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

De la *Tabla 3.6* se puede observar que el volumen total estimado es 33 300 l/día (1.38 m³/h) que a comparación de la tercera detección (Ver *Tabla 3.5*) disminuye en 55 200 l/d (2.30 m³/h).

3.6. Datos iniciales

Para el cálculo del ANF de febrero del 2013, se tiene datos de conexiones y el volumen de consumo del sector 18 que se muestra a continuación:

Tabla 3.7 Consumo de Agua Facturado del sector 18

Estado del suministro	Cantidad	
	Conexiones (und.)	Volumen (m ³)
Lectura	1 529	76 517
Promedio	208	6 029
Asignación de Consumo	1	9
Total	1 738	82 555

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

En la *Tabla 3.7* se tiene la cantidad de conexiones y volumen de consumo según el estado del suministro; datos que se usa para el porcentaje de micromedición y volumen de agua facturada.

En el cálculo de volumen al ingreso del sector se intenta hacer coincidir el periodo de facturación mensual del sector 18 con las fechas de los datos que son extraídos del sistema SCADA, a continuación, se muestra las fechas para cada mes de facturación.

Tabla 3.8 Periodo de facturación-sector 18

Fechas de facturación	
02/2013	16/Ene al 14/Feb
03/2013	15/Feb al 14/Mar
04/2013	15/Mar al 14/Abr
05/2013	15/Abr al 14/May
06/2013	15/May al 13/Jun
07/2013	14/Jun a 14/Jul
08/2013	15/Jul a 13/Ago
09/2013	14/Ago a 13/Set
10/2013	14/Set a 15/Oct
11/2013	16/Oct a 14/Nov
12/2013	15/Nov a 16/Dic
01/2014	17/Dic a 14/Ene

Fuente: Elaboración Propia con datos de SEDAPAL, 2014

En la *Tabla 3.8* se tiene las fechas del periodo de facturación del sector 18 por cada mes; por ejemplo, los datos extraídos del sistema SCADA son desde las 00:00:00h del 16 de enero hasta las 23:59:59 h del 14 de febrero. Estos datos son para calcular el ANF del mes de febrero y así sucesivamente para los meses siguientes.

A continuación, se muestra la *Tabla 3.9* de la lectura diaria de presiones y volúmenes al ingreso del sector 18 (Av. Canadá cdra. 13 / Av. Luis Aldana) es a través del sistema SCADA.

Tabla 3.9 Volumen diario de Agua Distribuida-sector 18

Fecha	Presión (mca)			Volumen (m3)
	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
16/01/2013	8.6	12.0	2.0	4 390
17/01/2013	8.3	11.8	2.3	4 505
18/01/2013	8.4	12.0	1.8	4 297
19/01/2013	8.6	11.5	2.0	4 202
20/01/2013	8.6	12.4	2.2	4 308
21/01/2013	9.0	12.4	1.8	4 347
22/01/2013	10.0	12.3	1.7	4 123
23/01/2013	8.6	12.0	2.3	4 331
24/01/2013	8.6	12.0	2.5	4 217
25/01/2013	8.6	12.1	2.2	4 326
26/01/2013	8.4	12.0	2.0	4 525
27/01/2013	8.5	12.5	2.1	4 229
28/01/2013	8.7	16.8	1.8	4 387
29/01/2013	8.5	12.0	1.9	4 259
30/01/2013	8.2	12.4	1.8	3 966

31/01/2013	8.4	12.3	1.7	4 424
01/02/2013	8.6	12.0	2.0	4 488
02/02/2013	8.5	12.1	2.3	4 523
03/02/2013	8.4	12.0	2.2	4 480
04/02/2013	9.2	12.5	1.9	4 256
05/02/2013	8.3	12.6	1.7	4 364
06/02/2013	8.3	12.0	1.6	4 267
07/02/2013	8.6	12.0	2.0	4 381
08/02/2013	8.3	12.4	2.3	4 193
09/02/2013	8.4	12.3	1.7	4 317
10/02/2013	8.5	12.0	1.8	4 230
11/02/2013	8.5	12.1	1.7	4 463
12/02/2013	8.6	11.9	2.0	4 388
13/02/2013	8.4	12.3	1.8	4 161
14/02/2013	9.3	12.2	2.0	4 098
15/02/2013	8.4	12.5	2.1	4 132
Total				133 579

Fuente: Elaboración propia con datos del SCADA, 2013

De la *Tabla 3.9* se puede observar los datos de presión promedio, máximo y mínimo, así como el volumen promedio diario desde el 16 de enero hasta el 15 de febrero con un volumen total de 133 579 m³.

3.7. Metodología de cálculo

El cálculo del caudal de fugas es mediante la medición de caudal mínimo nocturno, para ello se separa el sector 18 en subsectores (Ver *Figura 3.6*).

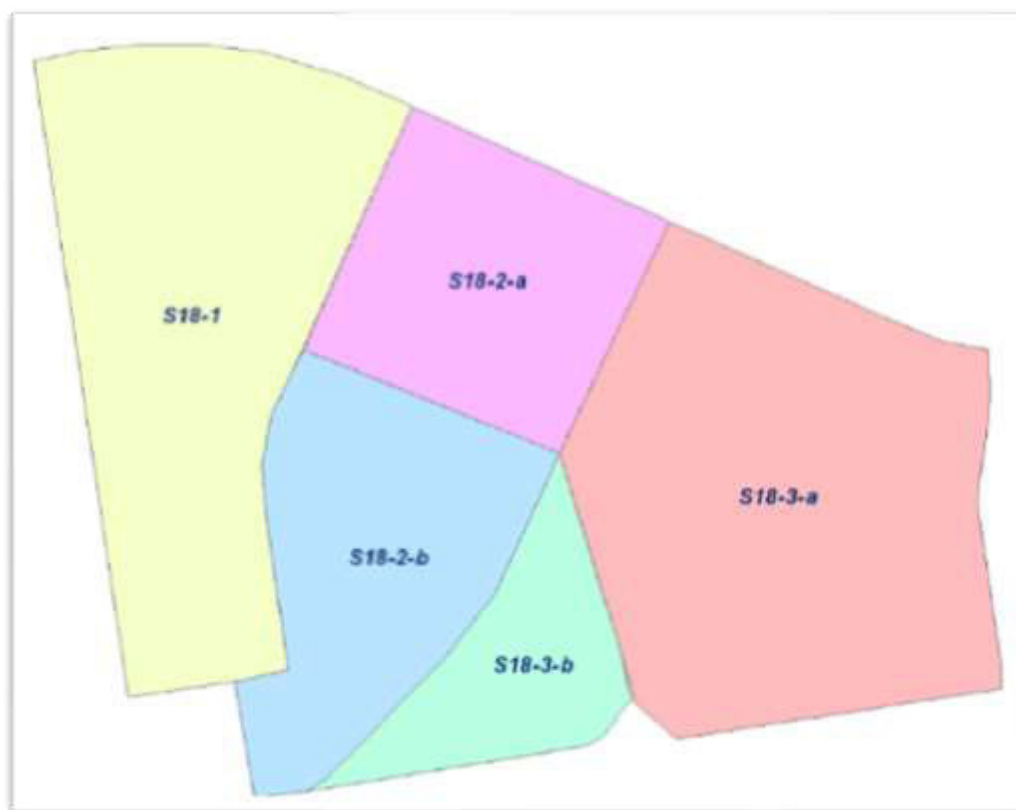


Figura 3.6 Sub-sectores del Sector 18.

Fuente: Elaboración propia, 2014

Después de cada reparación de las fugas, la medición de fugas por cada subsector es:

Tabla 3.10 Medición de Fugas-sector 18

Subsector	Caudal de fugas (m ³ /h)		
	1ra medición	2da medición	3ra medición
18-1	3.68	13.55	12.96
18-2-a	3.14	1.33	3.53
18-2-b	9.7	6.83	6.7
18-3-a	7.54	6.15	6.59
18-3-b	0.51	0.3	3.85
Total	24.57	28.16	33.63

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

De la *Tabla 3.10* se observa que en el Subsector 18-1 se incrementó el caudal de fugas después de la segunda reparación de fugas a 13.55 m³/h y luego disminuye a 12.96 m³/h; en el Subsector 18-2-a después de la segunda reparación de fugas el caudal de fugas disminuye a 1.33 m³/h pero después el caudal vuelve a incrementarse a 3.53 m³/h; en caso del Subsector 18-2-b después de la segunda reparación de fugas disminuye en 2.87 m³/h; en el Subsector 18-3-a el caudal no tiene diferencias significativas y por último el Subsector 18-3-b el caudal incrementa de la segunda a la tercera reparación en 3.55 m³/h.

Para obtener el caudal real de las fugas existentes en los subsectores que tienen una diferencia de caudal será por medio de la medición directa de fugas, como el Subsector 18-1, 18-2-b y una parte del 18-3-a.



Figura 3.7 Línea de medición directa-sector 18

Fuente: Elaboración Propia con información catastral de redes de SEDAPAL, 2013

En la Figura 3.7 se tiene que los tramos 1, 2, 3, 4 y 5 son del Subsector 18-2-b; los tramos 6 y 7 son del Subsector 18-3-a; y los tramos 9 y 10 del Subsector 18-1 (Ver *Figura 3.6*).

Tabla 3.11 Resultado de la medición directa nocturna-sector 18

Tramo	Conexiones	Longitud de tubería (Km)	Caudal mínimo nocturno	Caudal de fugas	Ingreso de agua	Lectura de medidor (4)		Agua insensible por el medidor (5)=(3)-(4)	
			Punto de medición (1)	l/min (2)	l/min (3)=(1)-(2)	l/min	Conexiones	l/min	Conexiones
1	76	0.815	9.316	1.513	7.803	7.1	6	0.703	6
2	73	0.726	9.520	3.094	6.426	5.4	8	1.026	8
3	45	0.448	10.353	8.041	2.312	1.5	1	0.812	1
4	33	0.508	13.668	7.157	6.511	2.5	2	4.011	2
5	38	1.028	4.590	2.499	2.091	2.0	1	0.091	1
6,7	125	1.420	8.000	5.200	2.800	2.4	3	0.400	3
9,10	378	6.105	224.000	103.000	121.000	73.2	47	47.850	47
Total	768	11.050	279.447	130.504	148.943	94.1	68	54.893	68

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2013

En la *Tabla 3.11* se desarrolla el cálculo del caudal de fugas por medición directa en el **Tramo 1** se muestran en la *Figura 3.8*.

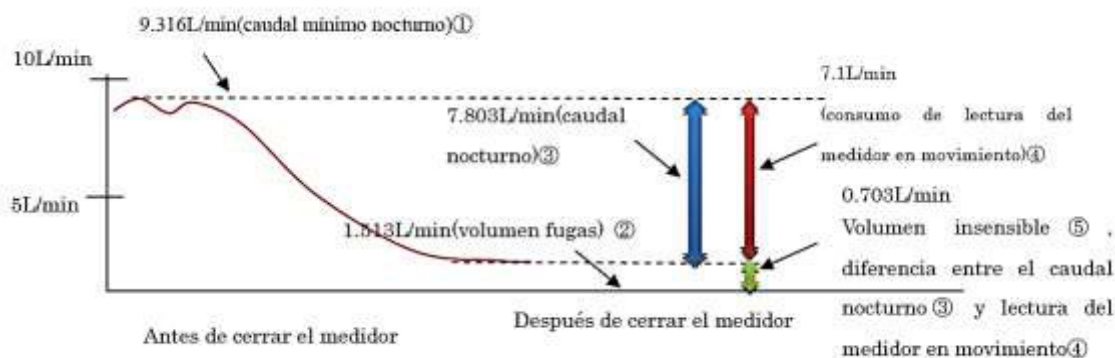


Figura 3.8 Medición directa de fugas-sector 18

Fuente: SEDAPAL y JICA, 2013

El caudal mínimo nocturno (1), tiene un valor inferior al valor con la presión normal por ingresar el agua desde el medidor.

El caudal de fugas (2), el caudal nocturno en el medidor es de 9.316 l/min, el caudal después de la parada del medidor 1.513 l/min, entonces el volumen de fugas es 1.513 l/min.

Diferencia con el consumo de lectura (4), la diferencia entre el caudal mínimo nocturno y el caudal de fugas es de 7.803 l/min. El valor de la lectura del medidor en movimiento en este momento es de 7.1 l/min. Entonces se deduce que la diferencia 0.703 l/min se debe a la diferencia instrumental o insensibilidad del medidor (5).

Siguiendo los mismos pasos se realiza el cálculo de caudal de fugas de los tramos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10.

De acuerdo a la metodología de cálculo de por medición directa se aplica a todo el sector 18:

Tabla 3.12 Volumen total de fugas del sector 18

Subsector	Conexiones (und.)	Longitud de tubería (Km)	Volumen de Fugas (l/min/Km)	Volumen por Longitud de tuberías (l/min)	Volumen de Fugas (m³/h)
18-1	500	6.59	25.00	164.63	9.88
18-2-a	280	3.07	10.00	30.71	1.84
18-2-b	265	3.53	9.32	32.85	1.97
18-3-a	600	5.11	12.50	63.86	3.83
18-3-b	100	1.21	50.00	60.50	3.63
Total	1 745	19.50	106.82	352.55	21.15

Fuente: Equipo Control y Reducción de Fugas-SEDAPAL, 2013

La *Tabla 3.12* muestra por cada Subsector la cantidad de conexiones, longitud de tuberías y el volumen de fugas; el cálculo del volumen total de fugas del sector 18 de acuerdo al resultado de la medición directa de cada subsector, se estima 21.15 m³/h.

En la medición de fugas se ubicó dos conexiones clandestinas en las siguientes direcciones:

Av. Canadá No.920

Se trató de un lugar donde estaba la estación de bombeo de SEDAPAL y los vecinos robaban el agua desde la tubería de distribución, pasando un tubo de polietileno de 15 mm por dentro de la tubería de alcantarillado.

Av. Canadá No.790

Se encontró una conexión clandestina de 15 mm conectada paralelamente al medidor en un edificio de 5 pisos con 6 unidades de uso (Ver *Figura 3.6*). Se detectó porque su consumo era pequeño al consumo facturado en comparación con el número de clientes y con el uso de agua. Como multa, se cargó un total de 6,600 soles, que correspondía al consumo supuesto de un año.



Figura 3.9 Conexión clandestina ubicada en la Av. Canadá N° 790

Fuente: SEDAPAL, 2013

CAPÍTULO 4

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1. Cálculos

Para los cálculos del nivel de micromedición, tenemos 1 529 conexiones que se factura con la lectura del medidor (Ver Tabla 3.7) y 1 738 que es el total de conexiones del sector 18.

De la *Ecuación (2.2)* se tiene:

$$\text{Nivel de Micromedición} = \left(\frac{1\ 529}{1\ 738} \right) 100$$

$$\text{Nivel de Micromedición} = 87.97\%$$

Entonces se afirma que para el mes de febrero del 2013 el nivel de micromedición del sector 18 es 87.97%.

En la *Tabla 4.1* tenemos los valores de conexiones, nivel de micromedición y agua distribuida correspondientes al mes de febrero, 2013 del sector 18:

Tabla 4.1 Valores relacionados con la tasa de ANF-sector 18

Mes	Total Conexiones (und.)	Nivel de micromedición (%)	Agua Distribuida (m³)	Agua Facturada (m³)
feb-13	1 738	87.97	133 579	82 555

Fuente: Elaboración propia, 2013

La *Tabla 4.1* es un resumen de datos del número de conexiones y el volumen total de agua facturada (Ver *Tabla 3.7*), el nivel de micromedición hallado líneas arriba y el volumen de agua distribuida (Ver *Tabla 3.9*.)

De la *Ecuación (2.1)* se tiene:

$$ANF = \left(\frac{133\,579 - 82\,555}{133\,579} \right) 100$$

$$ANF = 38.20\%$$

Cabe mencionar que con la misma metodología se obtiene la tasa de ANF mensualmente del sector 18:

Tabla 4.2 Tasa de ANF feb-13 a feb-14 sector 18

Fecha	Conexiones (und.)	Nivel de micromedición (%)	Agua Distribuida (m ³)	Agua Facturada				Agua No Facturada	
				Lectura (m ³)	Promedio (m ³)	Asignación (m ³)	Total (m ³)	Cantidad (m ³)	Tasa (%)
02/2013	1 738	87.97	133 579	76 517	6 029	9	82 555	51 024	38.20
03/2013	1 745	97.94	121 049	78 380	1 812	0	80 192	40 857	33.75
04/2013	1 739	97.64	133 892	84 357	1 586	30	85 973	47 919	35.79
05/2013	1 745	97.19	131 395	78 559	3 171	22	81 752	49 643	37.78
06/2013	1 746	96.68	128 866	70 878	9 040	93	80 011	48 855	37.91
07/2013	1 751	96.46	131 692	65 096	13 568	45	78 709	52 983	40.23
08/2013	1 752	96.80	125 458	65 758	5 840	0	71 598	53 860	42.93
09/2013	1 751	97.14	119 813	72 636	6 156	2 897	81 689	38 124	31.82
10/2013	1 748	96.97	113 888	74 938	4 018	18	78 974	34 914	30.66
11/2013	1 754	97.09	108 155	70 661	3 063	0	73 724	34 431	31.83
12/2013	1 755	97.83	119 131	79 877	4 577	0	84 454	34 677	29.11
01/2014	1 750	98.40	108 208	77 241	1 461	0	78 702	29 506	27.27

Fuente: Elaboración propia con datos de conexiones, agua distribuida y agua facturada de SEDAPAL, 2014

De la *Tabla 4.2*, el nivel de micromedición se halla de acuerdo a la *Ecuación (2.2)*, el total de consumo del agua facturada con la suma de lectura, promedio y asignación, y la tasa de ANF mediante la *Ecuación (2.1)*. Se observa que en enero se halló una tasa de ANF inicial de 38.20%, con las actividades para reducir las pérdidas físicas y aparentes (como son: ubicación y reparación de fugas, cambio de medidores vandalizados o con desperfectos y mejora en la lectura de consumo) van haciendo efecto por la reparación de las fugas encontradas. Pero en los meses de julio y agosto, podemos observar que disminuye notablemente la cantidad de agua consumida y a su vez el agua facturada a pesar del incremento del nivel de micromedición, a su vez en dichos meses se tuvo la necesidad de elevar la presión para garantizar el nivel mínimo de presión en zonas más críticas del sector, debido al incremento de válvulas para la sectorización y el comportamiento del consumo, lo hizo elevar el caudal de las fugas y las pérdidas reales de agua; que en los siguientes meses es solucionado y la tasa se reduce a enero del 2014 a 27.27%.

En la *Figura 4.1* se muestran los volúmenes de agua distribuida, facturada y no facturada (Ver *Tabla 4.2*).

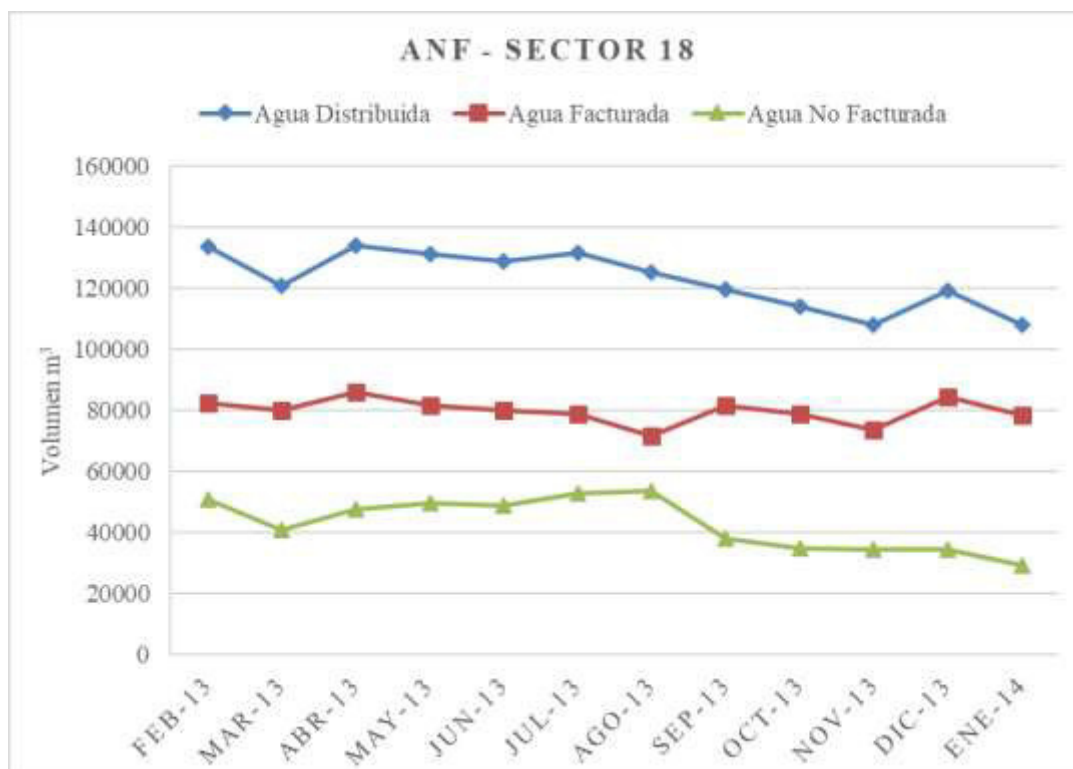


Figura 4.1 Volumen de ANF anual

Fuente: Elaboración propia, 2014

4.2. Discusión de resultados:

El nivel de micromedición del sector 18 desde el inicio febrero del 2013 hasta enero 2014 (Ver *Tabla 4.3*).

Tabla 4.3 Resultado de Conexiones y micromedición-sector 18

	Febrero 2013	Enero 2014
Total de conexiones (und.)	1 738	1 750
Micromedición (%)	87.97	98.40

Fuente: Elaboración propia con datos de conexiones de SEDAPAL, 2014

De la *Tabla 4.3* se tiene que en el sector 18 el número de conexiones subió en 12, dichas conexiones incrementan la cantidad de usuarios de agua potable, a su vez el porcentaje de micromedición hallado alcanzó su nivel más alto en el mes de enero 2014 con 98.40% (Ver *Tabla 4.2*).

El volumen de agua distribuida en febrero 2013 fue de 133 579 m³ y en enero 2014 es 108 208 m³, lo cual nos indica que la cantidad de pérdidas de agua en las redes de distribución ha disminuido y en consecuencia el servicio en el sector 18 ha mejorado.

En el caso del volumen de consumo facturado por lectura, promedio o asignación de febrero 2013 a enero 2014 se tiene:

Tabla 4.4 Resultado de agua facturada-sector 18

Estado del suministro	Febrero 2013	Enero 2014
Lectura (m ³)	76 517	77 241
Promedio (m ³)	6 029	1 661
Asignación (m ³)	9	0
Total	82 555	78 702

Fuente: Elaboración propia con datos de SEDAPAL, 2014

Se observa que en la *Tabla 4.4* que el volumen facturado por lectura de medidor se incrementa de febrero 2013 a enero 2014, en el caso de facturación de suministro por promedio y

asignación disminuyen. Pero en el total del volumen distribuido disminuye igual al volumen de agua facturada.

Tabla 4.5 Resultado del ANF-sector 18

	Febrero	Enero
	2013	2014
Agua No Facturada (%)	38.20	27.27

Fuente: Elaboración propia, 2014

En la *Tabla 4.5* la tasa de ANF disminuye luego de las diversas actividades para su reducción, pero en agosto 2013 tuvo un porcentaje de 42.93% (Ver *Tabla 4.2*) debido a que en meses anteriores se modificó la consigna de presión y no se mantuvo en el mínimo de 2 mca y máximo de 12 mca, también porque las fugas fueron encontradas en el transcurso de los meses. Finalmente, la comparación del balance hídrico en el sector 18, de febrero 2013 a enero 2014:

Tabla 4.6 Resultado del Balance Hídrico del sector 18

Sector 18				Febrero 2013 (%)	Enero 2014 (%)
Volumen Distribuido	Volumen de Agua Efectiva	Autorizado facturado	Por Lectura	61.80	72.73
			Por promedio		
			Por asignación		
	Volumen de Agua No Efectiva	Autorizado no facturado	Para la extinción de fuego, limpieza, etc.	0.10	0.10
		Pérdidas comerciales	Robos de agua	3.70	3.60
			Errores en lecturas	4.20	5.00
			Errores en proceso de facturación	1.00	1.00
		Pérdidas físicas	Fugas en las Redes de distribución	29.20	17.57
	Total			100.00	100.00

Fuente: SEDAPAL, 2014

De la *Tabla 4.6* se observa:

- Se incrementó del porcentaje de agua facturada y está en relación al del nivel de micromedición que para enero 2014 es 98.40% (Ver *Tabla 4.3*).

- El consumo autorizado no facturado se mantiene constante porque es usada para pruebas de paso de agua, limpieza de agua y desagüe, etc. pero en caso de emergencias como incendios u otros el volumen se incrementará.
- En pérdidas comerciales sólo se redujo en un porcentaje pequeño el componente sobre robo de agua por los dos casos mencionados anteriormente; en el caso de errores de lectura se incrementó puede ser porque existe mayor cantidad de medidores que verificar y el personal sigue siendo la misma cantidad.
- Asimismo, las pérdidas físicas disminuyeron en gran porcentaje por el seguimiento continuo en el control de la presión a través del sistema SCADA, la detección de fugas y reparación.

CONCLUSIONES

El tratamiento y análisis de los parámetros hidráulicos de volúmenes, caudales y presiones del sector 18 del distrito de San Borja, permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

La tasa de agua no facturada en el sector 18 en el mes de febrero de 2013 fue de 38.20%, mostrando un incremento en el mes de agosto de 2013, en el que se llegó a una tasa de 42.93%, debido a una disminución considerable del volumen de agua facturada del sector 18. Este incremento de tasa de agua no facturada fue superado a través de los siguientes meses, llegando al mes de enero de 2014 al 27.27%.

La evaluación del nivel de micromedición del sector 18 en el mes de febrero del 2013 fue de 87.97%. Al incrementarse la cantidad de medidores con lectura de consumo y el total de conexiones del sector durante los siguientes meses tuvo como consecuencia que para enero del 2014 el nivel de micromedición se incremente hasta el 98.40%.

La contrastación entre el volumen de agua distribuida y el agua facturada en febrero del 2013 reveló una pérdida de 51 024 m³ de agua potable en el sector 18. Con el incremento de conexiones a enero 2014 se podría asumir que el volumen de agua distribuida y el agua facturada deberían aumentar, más aún, teniendo en cuenta las reparaciones de las fugas efectuadas en las redes de distribución del sector. Por tanto, se justifica que la pérdida del volumen de agua potable a enero 2014 haya disminuido a 29 506 m³.

El análisis del comportamiento de la presión al ingreso del sector 18 respecto del volumen de pérdidas de agua potable en las redes de distribución muestra que el volumen de pérdidas se acentúa entre el mes de mayo y agosto porque existió un incremento de presión en el punto de distribución y la segunda reparación de fugas se realizó en septiembre del 2013.

En general se concluye que el tratamiento y análisis oportuno de los parámetros hidráulicos del sistema de distribución de agua por sectores permitirá a la empresa prestadora de servicios SEDAPAL conocer la tasa de agua no facturada del sector bajo análisis y tomar las decisiones adecuadas para facilitar la reducción de la misma.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar mensualmente la tasa de agua no facturada a través del tratamiento y análisis de los parámetros hidráulicos del sistema de distribución, pues a través de ello se conocerá el porcentaje de pérdidas del volumen de agua potable que no es entregado a los usuarios para detectar y evitar las fugas de agua potable en las redes de distribución, las conexiones clandestinas y los errores en las lecturas de consumo de los medidores.

También se recomienda la implementación de sistemas SCADA en todos los sectores de la ciudad de Lima, con la finalidad de obtener el comportamiento de la presión al ingreso de cada sector y establecer valores específicos de acuerdo a cada estación (verano, otoño, invierno, primavera) del año para asegurar el abastecimiento continuo.

Finalmente, se recomienda que las acciones tomadas para el sector 18 sirvan de modelo y se replique en otros sectores de la ciudad de Lima, para generar menores pérdidas económicas a la empresa prestadora del servicio en beneficio de la población que carece del agua potable y también brindar un mejor servicio a los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, D. (2012). *Técnicas de detección y localización de fugas de agua en redes de distribución*. Loja-Ecuador.
- Albarrán Ulisen, M., Freddy, B., Colla, E., Concha Aspe, H., Ferreira, M., Figueroa Garay, A., & Orellana Iturriaga, J. L. (1997). *Reducción de pérdidas en sistemas de agua potable*. Santiago de Chile.
- Apolo Marchán, J. L. (2004). *Proyecto de evaluación y reducción de pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua EPS EMFAPATUMBES S.A.* Lima.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua. Un enfoque en la gestión de presión*. Eschborn.
- Empresa Consecionaria de Servicios Sanitarios S.A. (ECOONSA CHILE S.A.). (2014). *Agua no facturada en sistemas de agua potable*. Santiago de Chile.
- International Water Assosiation. (2000). *IWA Water Balance*. Obtenido de <http://www.leakssuite.com/concepts/iwa-water-balance/>
- Mejía, A., Requena, B., Rivera, D., Pardón, M., & Rais, J. (2012). *Agua Potable y Saneamiento en América Latina y El Caribe: Metas realistas y soluciones sostenibles*. (CAF, Ed.) Ciudad de Panamá, Panamá: Norma Color Panamá.

- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). Estado pluricultural de Bolivia. (2013). *Plan Maestro Metropolitano de agua potable y saneamiento La Paz-El Alto Bolivia. Informe sobre demandas futuras y estrategias de expansión. Volumen III*. La Paz.
- Porras Gómez, O. H. (2014). *Reducción de pérdidas de caudal en red de tuberías para mejorar distribución de agua potable-Sector San Carlos-La Merced*. Huancayo.
- Ramírez, D. (2014). *Análisis de pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento-Colombia*. Santiago de Cali.
- Reategui, F. (s.f.). *Evaluación de las fugas mediante el análisis de los caudales inyectados*.
- SEDAPAL - JICA. (2015). *Fortalecimiento de capacidades en gestión de Agua No Facturada del servicio de agua potable y alcantarillado de Lima*.
- SEDAPAL. (2014). *Agua No Facturada - Equipo Control y Reducción de Fugas*.
- SEDAPAL. (2014). *Sistema SCADA - Equipo de Distribución Primaria*.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). (2013). *Normas de Facturación*. Lima.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2013). *Las EPS y su desarrollo 2013*. Lima.
- Vargas, M. V. (2011). *Proyecto de sectorización de la ciudad de Lima y Callao-SEDAPAL*. Lima.

ANEXOS

